

Die Wiederherstellung der Lesbarkeit von gelöschten, überschriebenen oder unleserlichen Textpartien in Handschriften aus den Sammlungen der Bayerischen Staatsbibliothek wird zunehmend von Forschenden, auch international, angefragt. An drei ausgewählten Kooperationsprojekten werden die differenzierten Strategien zur Lesbarmachung von Manuskripten und das hyperspektrale Aufnahmesystem vorgestellt, das zusammen mit dem Fraunhofer-Institut IWS in Dresden speziell für den Einsatz an empfindlichem und wertvollem schriftlichem Kulturerbe entwickelt wurde. In dem interdisziplinären Prozess der Lesbarmachung entstehen Forschungsdaten, die unser Wissen über das Kulturerbe vermehren und als »analytische Digitalisate« für Wissenschaft und Öffentlichkeit im Internet bereitstehen.

There is increasing demand from researchers in Germany and abroad for the restoration to a legible form of erased, overwritten or illegible parts of manuscripts in the collections of the Bayerische Staatsbibliothek. The paper presents the hyperspectral recording system (developed together with the Fraunhofer Institute IWS in Dresden especially for use on sensitive and valuable written cultural artefacts) and different strategies for rendering manuscripts legible, taking three selected cooperation projects as examples. The interdisciplinary process of making text readable generates research data that increases the knowledge of our cultural heritage and that can be made available on the internet in the form of »analytical digital copies« for researchers and the general public.

THORSTEN ALLSCHER, IRMHILD CEYNOWA

Strategien für spektrale Untersuchungen zur Lesbarmachung von Manuskripten

Im November 2019 konnte die Bayerische Staatsbibliothek ihr 2,5-millionstes Digitalisat online stellen.¹ Die Handschrift mit Miniaturmalerei (Cgm 2799) wurde damit als eine von aktuell 24.000 Handschriften digital frei zugänglich. Einen Quantensprung für die Erforschung dieser Handschriften mit und ohne Miniaturen bedeutet der Relaunch der Digitalen Sammlungen der Bayerischen Staatsbibliothek zur vollständigen IIF-Bereitstellung im April 2021, dem weitaus größten digitalen Angebot von schriftlichem Kulturerbe in Deutschland.² Als Gründungsmitglied des International Image Interoperability Framework (IIF) Konsortium, einer Initiative von elf renommierten Gedächtnisinstitutionen, beteiligt sich die Bayerische Staatsbibliothek gemeinsam mit den University Libraries in Stanford, Yale, Oxford, Cornell und Princeton, dem Wellcome Trust, ARTstor, sowie der British Library, National Library of Norway und Bibliothèque nationale de France an der technischen Weiterentwicklung der IIF-Funktionen und Forschungstools. Der IIF-Standard mit seinem Viewer Mirador bietet der Forschung, Wissenschaft und breiten Öffentlichkeit einen freien, simultanen Zugriff auf die digitalen Sammlungen der IIF-Gemeinschaft aus heute über 40 Teilnehmern. Dieser erlaubt erstmalig ein vernetztes und interoperables Arbeiten mit den hochauflösenden Bildern von digitalisierten Objekten aus einer Sammlung oder aus weltweiten Sammlungen an einem einzigen Bildschirm.

Mit den wachsenden digitalen Sammlungen und neuen technischen Funktionen, die Detailstudien an den hoch-

aufgelösten Images digitalisierter Handschriften auf dem Bildschirm besser als am Original erlauben, nehmen an der Bayerischen Staatsbibliothek die Anfragen aus der Wissenschaft zu gelöschten, überschriebenen oder unleserlichen Textstellen zu, zusätzlich motiviert von spektakulären Erfolgsmeldungen zur Lesbarmachung verloren geglaubter Texte durch heutige Technik.³ Tatsächlich können nahezu über das gesamte Spektrum von der Röntgenstrahlung bis tief in das Infrarot spektroskopische Verfahren angewandt, Daten ausgewertet und Bilder erzeugt werden, allerdings mit hohem Aufwand. Eine geeignete Geräteausstattung ist ebenso Voraussetzung wie eine genaue Kenntnis der Methoden, ihrer Möglichkeiten und Grenzen sowie der zu untersuchenden Materialien und ihrer Eigenschaften.

Die Weiterentwicklung spektroskopischer Methoden von der punktuellen Einzelmessung hin zur bildgebenden Erfassung ganzer Spektralbereiche weit über die Grenzen des sichtbaren Lichts hinaus stellt die Forschung vor Chancen und Risiken zugleich, zumal die Rechenkapazitäten für immer größere Datenmengen gleichsam mitwachsen. Jedes einzelne Experiment zur Lesbarmachung von Manuskripten beansprucht jedoch selbst bei berührungsloser und nichtinvasiver Durchführung das wertvolle Original. Um diese Belastungen so gering wie möglich zu halten, muss informiert und strategisch vorgegangen werden. Daher steht eine sorgfältige Analyse der Erfolgsaussichten verschiedener Methoden mit dem Ziel einer begründeten Entscheidung vor dem Beginn jedes Experiments. Untersuchungen

mit derzeit unsicheren Erfolgsaussichten können in wenigen Jahren mit neu entwickelten Verfahren Ergebnisse liefern. Daher ist auch der Verzicht auf eine Untersuchung Bestandteil einer verantwortungsvollen Strategie. Die Festlegung, wie die Forschungsdaten allgemein zugänglich gemacht und gehalten werden, um ihre Nutzbarkeit zu sichern, gehört zum Kern strategischen Handelns.

In den letzten Jahren hat das Institut für Bestandserhaltung und Restaurierung (IBR) der Bayerischen Staatsbibliothek durch Untersuchungen an verschiedenen Materialien differenzierte Strategien zur Lesbarmachung von Manuskripten entwickelt, die an drei ausgewählten Projekten vorgestellt werden. Um die Möglichkeiten und Grenzen der Methoden zu verdeutlichen, werden zunächst die eingesetzten Techniken und spektralen Eigenschaften von Tinten erläutert.

Hyperspektral, multispektral oder spektral optimierte klassische Fotografie?

Zur Wiederherstellung der Lesbarkeit von Schrift kommen kategorial unterschiedliche spektrale Techniken zum Einsatz. Der Träger spektraler Information ist

der gesamte Bereich der elektromagnetischen Strahlung, die von der Sonne oder einer künstlichen Strahlenquelle ausgeht und sich von harter Röntgenstrahlung mit extrem kurzen Wellenlängen unter 0,1 Nanometern (nm) bis zu Radiowellen von über einem Kilometer Länge erstreckt. Für das menschliche Auge sichtbares Licht liegt zwischen 380 und 780 nm. Im Grunde stellt bereits das Auge mit seinen drei Farbrezeptoren mit Absorptionsmaxima bei 455 nm für Blauviolett, 535 nm für Grün und 563 nm für Gelbgrün bis Rot einen Multispektralsensor mit drei relativ breiten spektralen Aufnahmebändern dar. Ein Aufnahmeband wird definiert durch seine zentrale oder dominierende Wellenlänge und seine Bandbreite, dem um die zentrale Wellenlänge miterfassten Wellenlängenbereich.

Multispektrale und hyperspektrale Datenerfassung unterscheiden sich durch die Anzahl und Breite der Aufnahmebänder. Multispektralsysteme verfügen über eine begrenzte, vordefinierte Auswahl an Filtern und korrespondierenden Farb-LEDs für monochromatisches Licht und erreichen etwa 10 bis 20 Bänder bei einer Bandbreite von jeweils etwa 25 nm. Dagegen weisen Hyperspektralsysteme zur Steigerung der spektralen



1 Hyperspectral Imaging System der Bayerischen Staatsbibliothek mit diffuser Streiflichtbeleuchtung und Portalaufbau

Foto: BSB, Institut für Bestandserhaltung und Restaurierung

Auflösung eine weitaus größere Anzahl deutlich schmalerer Bänder auf. Mit bis zu mehreren hundert dicht nebeneinanderliegenden Bändern wird bei der hyperspektralen Bildgebung somit für jeden einzelnen Bildpixel ein hochaufgelöstes, kontinuierliches Spektrum über den Messbereich des bildgebenden Spektrometers erfasst. Die damit erreichte spektrale Auflösung liegt um ein Vielfaches höher als bei vergleichbaren multispektralen Aufnahmen, die nur einzelne Wellenlängen erfassen.

Um diesen Vorteil maximal zu nutzen und mit nur einer einzigen Messung eine vielfach erhöhte analytische Auswertbarkeit zu erzielen, hat die Bayerische Staatsbibliothek in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS in Dresden ein hyperspektrales Aufnahmesystem entwickelt. Allein im UV/Vis-Bereich kann es mit 300 bis 1.000 nm bis zu 501 Bänder erfassen, was einer spektralen Auflösung von etwa 1,4 nm entspricht. Für den infraroten Bereich bis 1.770 nm stehen weitere 196 Bänder zur Verfügung. Dieses Hyperspectral Imaging System wurde speziell für die Anwendung an schriftlichem Kulturgut konfiguriert (vgl. Abb. 1). Die besondere Konstruktion der Beleuchtung führt mit einem Minimum an notwendigem Lichteinsatz zur maximalen Ergebnisausbeute, um die lichtempfindlichen Oberflächen der Originale keiner unnötigen Bestrahlung auszusetzen. An einem Portal sind sowohl die Hyperspektralkamera als auch eine eigens für das System entwickelte Beleuchtungseinheit montiert. Die Konstruktion überträgt das Prinzip der Ulbricht-Kugel auf eine Röhre, um für eine optimale Ausleuchtung auch unebener Oberflächen die notwendige diffuse Strahlung aus gerichteter Strahlung zu erzeugen. Umgekehrt wird die stark divergente Rückstrahlung von der Objektoberfläche durch die Ulbricht-Röhre auf die mit Linienabtastung arbeitende Hyperspektralkamera zurückreflektiert, die dieses Licht durch einen Bildspalt aufnimmt. Bei jeder Bewegung wird Linie für Linie eine Reihe von Pixeln pro Frame gesammelt, wobei jeder Pixel vollständige Spektraldaten enthält. Für die verschiedenen Forschungsfragen kommen zwei austauschbare Hyperspektralkameras für den sichtbaren und nahinfraroten Bereich, sogenannte Imaging Spektrometer, mit entsprechenden Objektiven zum Einsatz. Das Aufnahmesystem erlaubt Messungen nicht nur auf planen Oberflächen, sondern auch in geöffneten Büchern, und von kleinen oder großen Objekten bis zu einer Fläche von 80 x 120 cm.

Auch wenn Multispectral und Hyperspectral Imaging bei der Lesbarmachung von Manuskripten oftmals synonym für die Anwendung im UV/Vis-Bereich genannt werden, ist der Zielbereich im elektromagnetischen Spektrum kein Unterscheidungsmerkmal. Beide Verfahren können ebenso Röntgenstrahlung, mittleres Infrarot oder andere bildgebende Techniken einbeziehen, das alleinige Unterscheidungsmerkmal ist die spektrale Auflösung. Aufgrund der weitaus höheren Datendichte

hyperspektraler Aufnahmen spricht man bei dem dreidimensionalen Datensatz auch von einem Datenwürfel, der in der xy-Ebene die Bildinformation und entlang der z-Achse die spektrale Information enthält. Die hohe Informationsdichte gewinnt man durch die schiere Datenmenge hyperspektraler Aufnahmen, deren intellektuelle Nachbearbeitung einen hohen Zeitaufwand erfordert. Um aus dem Datenwürfel die gewünschten Informationen extrahieren zu können, muss aus einer Vielzahl verfügbarer Algorithmen ausgewählt werden.

Trotz der vielfältigen Möglichkeiten des Hyperspectral Imaging können auch Gründe gegen seine Anwendung sprechen. Bei Oberflächen mit chemisch nicht unterscheidbaren oder nur schwach reflektierenden Verbindungen bringt die hyperspektrale Technik keine Vorteile gegenüber der klassischen Fotografie mit einem Filter. Die Verteilung der reflektierten Wellenlängen auf viele Aufnahmebänder bei der hyperspektralen Datenerfassung führt vor allem bei sehr schwach erhaltenen Palimpsesten zu eher schlechteren Ergebnissen, da es technisch und optisch bedingt zu Verlusten in der spektralen Information kommt. In diesen Anwendungsfällen lassen sich, wie im ersten Projekt unten belegt, alleine mit spektral optimierter Fotografie gelöschte Texte wieder lesbar machen, vorausgesetzt, es ist genügend Material vorhanden, das auf die Anregung durch geeignete Wellenlängen reagiert.

Schwarze Tinten: Alchemie – oder nur Chemie?

Um zu verstehen, inwieweit gelöschte Textpartien wieder lesbar gemacht werden können, und welche Technik zum Erfolg führen kann, muss man das spektrale Verhalten und die chemische Zusammensetzung verschiedener schwarzer Tinten kennen. Für Schreib- und Malmittel wurden seit jeher hochspezialisierte Rezepturen für das perfekte Tiefschwarz entwickelt.⁴ Physikalisch gesehen ist Schwarz aber keine Farbe, sondern die Abwesenheit von Farbe. Als Schwarz wird ein Material wahrgenommen, das Licht vollständig absorbiert. Entscheidend für die Schwärze eines Schreibmittels ist daher seine Eigenschaft, Licht über einen möglichst breiten Bereich des sichtbaren Spektrums zu absorbieren. Chemisch gesehen sind schwarze Tinten komplexe Systeme, deren spektrale Eigenschaften maßgeblich von ihrer individuellen Zusammensetzung bestimmt werden. Grob unterscheiden kann man sie nach den ruß- und eisengallusbasierten Hauptkomponenten, oder es liegt eine Mischfarbe mit variablen Anteilen aus beiden Komponenten vor. Vielfältige Zusätze machen die Schreibmittel zwar weiter unterscheidbar, sind aber für das spektrale Verhalten von geringer Bedeutung.

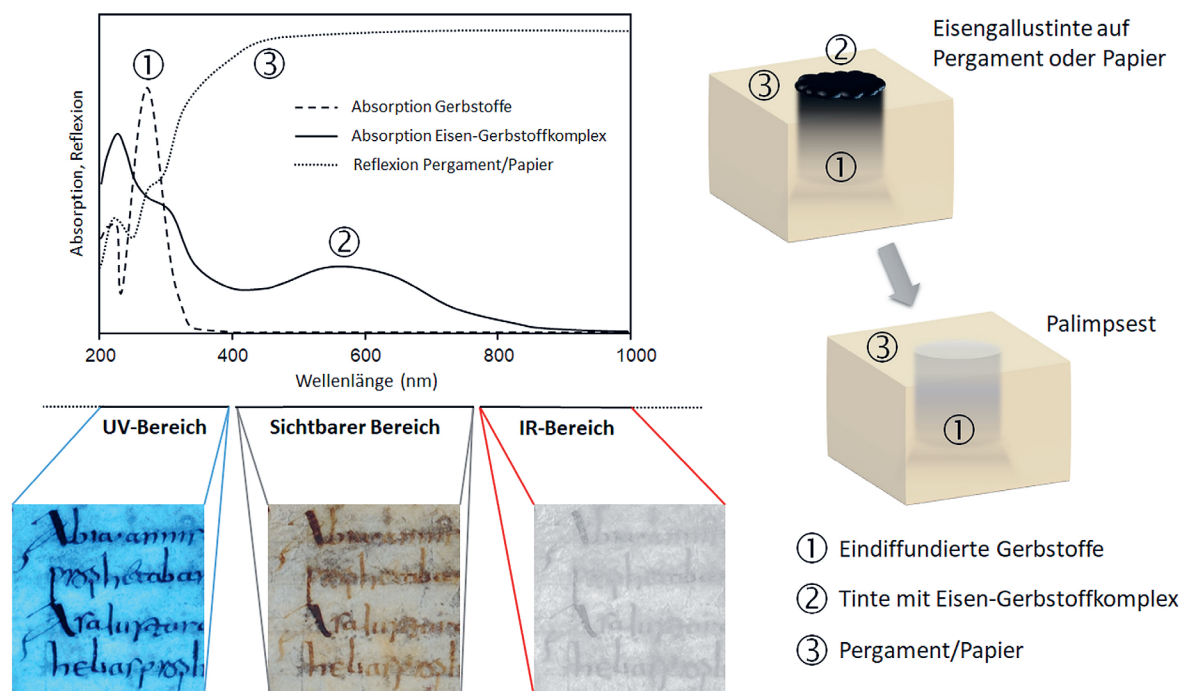
Die Lichtabsorption kohlenstoffhaltiger Partikel, von »Ruß«, hängt von der Modifikation des Kohlenstoffs und seiner mikroskopischen Strukturen ab.⁵ Ruß entsteht bei der Verbrennung von kohlenwasserstoffhaltigen Brennstoffen wie Fetten, Harzen oder Ölen.⁶ Ab

Verbrennungstemperaturen von ca. 1000 °C bilden sich zwiebelartig aufgebaute Nanopartikel aus Graphenfragmenten, die in Größe, Form und Grad der strukturellen Ordnung um einen amorphen Kern variieren.⁷ Daher gibt es kein definiertes Schwarzpigment, sondern qualitativ sehr unterschiedliche Endprodukte, die in ihrer gesamten Vielfalt als Schreibmittel eingesetzt wurden. Dennoch führt der gemeinsame strukturelle Aufbau der Nanopartikel zu einem einheitlichen spektralen Verhalten, d.h. Rußpartikel absorbieren Licht über einen weiten Bereich des Spektrums vom ultravioletten bis in den infraroten Wellenlängenbereich. Unterschiede zeigen sich lediglich beim Grad der Absorption mit dem visuellen Eindruck von Schwärze. Rußtinten mit einem hohen Anteil an nicht-absorbierenden Verbrennungsprodukten wie Asche oder an schlecht absorbierenden, amorphen Nanopartikeln scheinen folglich weniger schwarz als Rußtinten mit einem sehr hohen Anteil an Nanopartikeln mit hoher struktureller Ordnung, die effektiv Licht absorbieren.

Während die chemischen und spektralen Eigenschaften der Rußtinten gut untersucht und verstanden sind, fehlen bei den Eisengallustinten immer noch grundlegende Informationen über den strukturellen Aufbau des Chromophors. Lange haben sich in der Literatur falsche Strukturmodelle für Eisen-Gallussäure-Verbindungen gehalten, belegte Strukturmodelle wurden aber bislang nur unter Laborbedingungen erzeugt, die nicht mit über-

lieferten Tintenrezepturen übereinstimmen.⁸ Trotz hohen instrumentellen Aufwands beantworten auch aktuelle Studien die Frage nicht abschließend, welche Molekülstruktur für die schwarze Farbe bei Eisengallustinten verantwortlich ist.⁹ Daher bleibt nur der phänomenologische Ansatz zur Beschreibung des spektralen Verhaltens der Eisengallustinten.

Schon der Begriff der Eisengallustinte mit der impliziten Vorstellung von Galläpfeln und Eisensalzen führt zu der irrigen Annahme, sämtliche Tinten vom Mittelalter bis in die Neuzeit würden sich auf dieses universelle Grundrezept reduzieren lassen. Vielmehr steht der Gallapfel stellvertretend für unterschiedliche pflanzliche Gerbstoffe, die aus den verschiedensten Pflanzen(teilen) extrahiert werden können und alleine schon eine braune Tinte ergeben. Bereits geringe Zugaben von Eisensalzen führen beim Trocknen an der Luft zu einem Nachdunkeln der Tinte. Durch die Oxidation bildet sich mutmaßlich ein Eisen-Gerbstoffkomplex, der für die schwarze Farbe verantwortlich ist. Eine Erhöhung der Eisenkonzentration führt aber nur bis zu einem gewissen Punkt zu noch schwärzeren Tinten. Und wird ein bestimmtes Verhältnis von Gerbstoff und Eisen überschritten, bleiben die nicht umgesetzten Eisensalze in der Schriftlinie zurück. Die Eisengallustinte muss daher als eine Kombination aus Gerbstoffen, Eisenkomplex und übrigen Komponenten betrachtet werden, die jeweils spezifische spektrale Eigenschaften haben.



2 Absorptions- und Reflexionsverhalten der verschiedenen Bestandteile von Eisengallustinten

Abb.: BSB, Institut für Bestandserhaltung und Restaurierung

Die Gerbstoffe dringen am tiefsten in den Beschreibstoff ein und können aufgrund ihres Molekülaufbaus sehr gut den ultravioletten und blauen Anteil im Licht absorbieren. Umgekehrt reflektieren Pergament und Papier ultraviolettes und blaues Licht gut. Dieses gegensätzliche Verhalten führt zu einem starken Kontrast im Schriftbild, der für die Lesbarmachung von gelöschten Textpartien nutzbar gemacht werden kann. Bei Palimpsesten sind es die tief im Pergament oder Papier liegenden Gerbstoffe, die bei spektral optimierten Aufnahmen verstärkt werden und den verblassten Text wieder lesbar machen (vgl. Abb. 2).¹⁰ Im Gegensatz zu den Gerbstoffen absorbiert der Eisenkomplex gut im gesamten Bereich des sichtbaren Lichts und ist verantwortlich für Schwärze und ausgeprägten Kontrast von Tinten.¹¹ Im langwelligen Licht verliert die Schrift stetig an Schwärze und Kontrast, bis diese bei Wellenlängen ab 1.000 nm in Aufnahmen transparent wird, da die einzelnen Tintenbestandteile kein Licht mehr absorbieren. Das unterschiedliche spektrale Verhalten von Eisengallus- und Rußtinten ermöglicht die strategische Anwendung spektraler Techniken zur Wiederherstellung der Lesbarkeit von Texten in Mischfarbe, wie das dritte Projekt gut zeigt.

Forschungsprojekt: Die Münchener Handschrift des Babylonischen Talmud (Bayerische Staatsbibliothek, Cod.hebr. 95)

Projektpartner: Prof. Dr. Judith Olszowy-Schlanger, Präsidentin des Oxford Centre for Hebrew and Jewish Studies, University of Oxford, und Direktorin der Sektion Hebraistik an der École Pratique des Hautes Études, Paris; Prof. Dr. Ronny Vollandt, Professor für Judaistik und Vorstand des Instituts für den Nahen und Mittleren Osten, Ludwig-Maximilians-Universität München.

Die Münchener Handschrift des Babylonischen Talmud ist die einzige vollständige Handschrift des Babylonischen Talmud und damit von herausragender Bedeutung.¹² Die Handschrift entstand im Jahr 1342 wohl in Südfrankreich und enthält die Mischna, die kanonische Sammlung jüdischer Gesetze aus Palästina, und die Gemara, die Diskussionen der Rabbinen über diese Gesetze, die in Babylonien geführt und aufgezeichnet wurden. Die Provenienz der Handschrift ist mit Schreiber- und Besitzvermerken, urkundlichen Einträgen zu Kauftransaktionen und einem Exlibris gut dokumentiert. Seit 1803 wird der »Münchener Talmud« von der Bayerischen Staatsbibliothek als eine ihrer bedeutendsten Handschriften kuratiert.

Der Schreiber Salomon ben Simson hat die Textsammlung als Auftragsarbeit in wohlüberlegter Anordnung auf 573 Pergamentblättern in einem einzigen Band vereint, wie es in den jüdischen Gemeinden im Westen und speziell in Frankreich üblich war. In den beiden Kolophonen hielt er den Namen seines Auftraggebers

und das Tagesdatum fest: auf Blatt 501 recto den 12. Kislew 5103 (11. November 1342) und auf Blatt 563 verso den 17. Tewet 5103 (15. Dezember 1342). Der Name des Auftraggebers wurde später vom Pergament geschabt, um den Namen des Zweitbesitzers der Handschrift, Matatjah ben Josef, über die Rasur zu setzen. Dieser stammte aus der prominenten Gelehrtenfamilie Trèves und war Oberrabbiner von Frankreich (1361–1385). Im 15. Jahrhundert gelangte das Manuskript mit seinem Sohn nach Norditalien und wechselte in den Jahren 1480 und 1500 zwei Mal den Eigentümer, was auf Blatt 1 recto urkundlich festgehalten wurde. Jakob ben Nathan aus Perugia verkaufte das Manuskript am 23. August (5)240 (1480), der Name des Käufers wurde später gelöscht. Zwanzig Jahre danach, im August (5)260 (1500) ist das Manuskript in Padua Gegenstand einer Transaktion zwischen Isaak ben Mordechai ha-Levi und einem Käufer, dessen Name ebenfalls später gelöscht wurde. Hier erscheinen mit Isaak ben Josef und Abraham ha-Levi zwei deutsche Zeugen. Das Forschungsinteresse gilt in diesem Projekt den gelöschten Namen des Auftraggebers auf Blatt 501 recto und Blatt 563 verso und der beiden Käufer in den Kaufvermerken von 1480 und 1500 auf Blatt 1 recto.

Für einen effektiven Einsatz spektraler Aufnahmetechniken wurde zunächst die Tinte und visuell der Grad an Schrifttilgung bzw. Überlagerung von Schrift auf dem dünnen Pergament untersucht und beurteilt. Die betroffenen Textstellen mit dem Namen des Auftraggebers auf Blatt 501 recto und Blatt 563 verso wurden sehr tief und gründlich abgeschabt und erneut mit Eisengallustinte beschrieben. Die ursprünglichen Buchstaben sind mit bloßem Auge unter den neu darüber geschriebenen Namen nur noch zu erahnen. Die gelöschten Namen der Käufer auf Blatt 1 recto wurden nicht überschrieben. Zurück blieben nach den Rasuren immer nur sehr schwache Tintenspuren in Form von tief in das Pergament eingedrungenen Gerbstoffen. Eine spektrale Differenzierung durch hyperspektrale Aufnahmen kam hier nicht infrage, da es sich bei den überlagernden Tinten ausschließlich um Eisengallustinte handelt, die eine einheitliche chemische wie spektrale Signatur im Bereich des sichtbaren Lichts aufweisen. Die Aufnahmetechnik musste daher auf die maximale Verstärkung der noch schwach vorhandenen Gerbstoffanteile der Tinten abzielen. Wie zu Abbildung 2 erläutert, zeigen die Gerbstoffanteile der Tinten im UV-Bereich ein Absorptionsmaximum, daher wurden diese Wellenlängen eingesetzt.

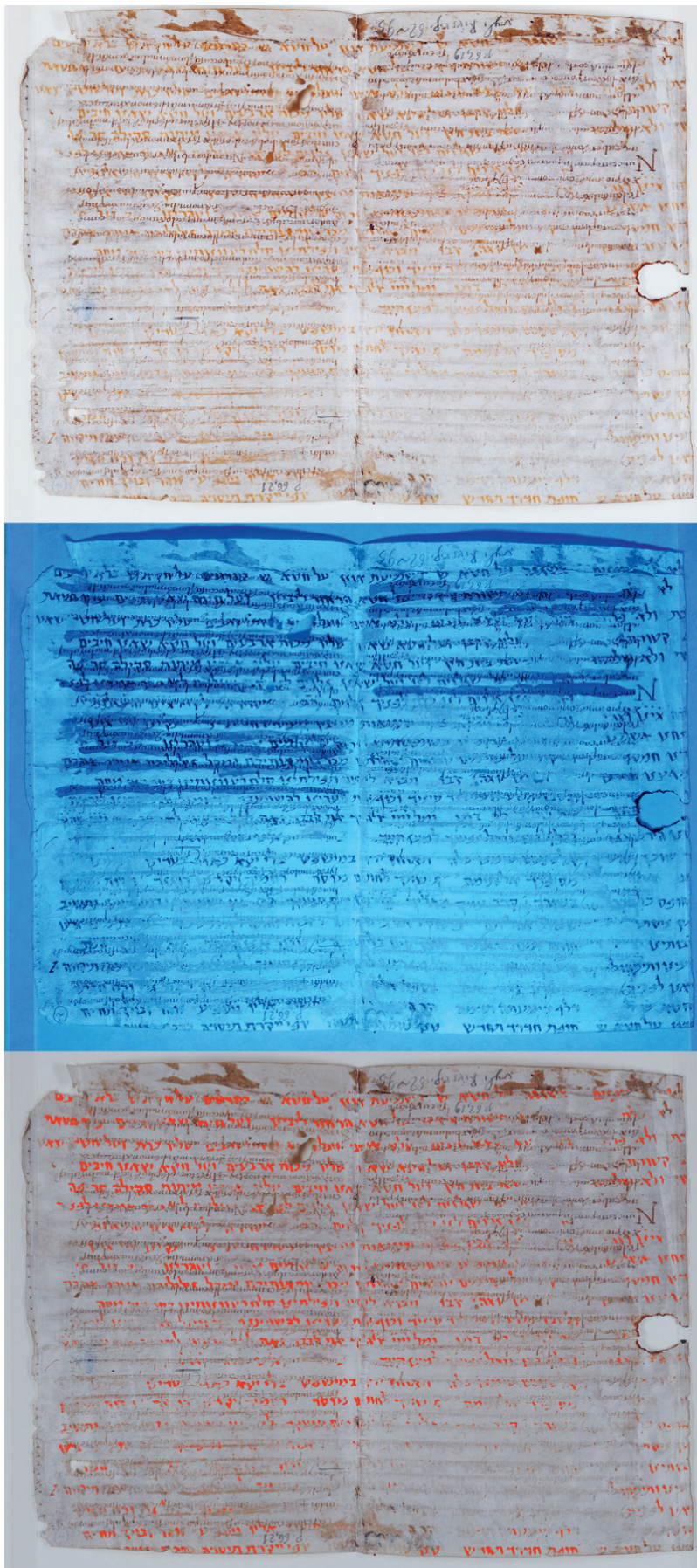
Bei den Kolophonen mit den überschriebenen Rasuren wird allerdings nicht nur der radierte Name, sondern auch der darübergeschriebene mitverstärkt, sodass sich die untere radierte und die obere Schrift in den Aufnahmen stark überlagern. Dieser Effekt lässt sich durch eine Nachbearbeitung der Bilder etwas reduzieren. Eine hochauflösende Nahaufnahme mit einer Kamera bei homogener Ausleuchtung und UV-Licht führte



3 Lesbarmachung der Schreibervermerke: Bl. 501 r (oben), Bl. 563 v (unten) Falschfarbendarstellung (Bayerische Staatsbibliothek, Cod.hebr. 95, Details)
Abb.: BSB, Institut für Bestandserhaltung und Restaurierung

hier zu den besten Ergebnissen, die durch Nachbearbeitung noch zu optimieren waren. Standardmäßig wurden Helligkeit und Kontrast angepasst. Eine zusätzliche Kontrastverstärkung durch Falschfarbenbilder erhöhte weiter die Lesbarkeit der gelöschten Namen (vgl. Abb. 3). Die Lesbarkeit der Schrift konnte teilweise oder weitestgehend wiederhergestellt werden. Durch Kombination der identifizierten Buchstaben in beiden Kolophonen gelang es Prof. Olszowy-Schlanger, den ausradierten Namen des Auftraggebers und Erstbesitzers der Handschrift als Jehosifjah Benjamin Simson zu lesen, der mit dem Namen des Zweitbesitzers Matatjah ben Josef überschrieben worden war. Dies bestätigt die Hypothese von Rabinovicz,¹³ der bereits 1867 annahm, dass die Handschrift nach dem Tod des Auftraggebers in das Eigentum dieses produktivsten Kommentators und Korrektors der Handschrift übergegangen sein könnte. Jehosifjah Benjamin Simson hat den Text ab Blatt 575 selbst fortgesetzt, zahlreiche Randglossen hinterlassen und sich zwei Mal namentlich genannt. Aus der Vermutung von Rabinovicz wurde nach 150 Jahren durch den technologischen Fortschritt Gewissheit. Die in gleicher Weise bearbeiteten Stellen mit den gelöschten Namen der Käufer auf Blatt 1 ergaben eine vielversprechende Grundlage für die weitere Forschungsarbeit.

Trotz des guten Ergebnisses zeigen sich in diesem Projekt auch die Grenzen der spektralen Techniken. Wo das Material für eine spektrale Anregung fehlt, kann kein Text wiederhergestellt werden. Je schwächer die Tintenspuren sind, desto stärker fallen die schwache Reflexion bei der nach Wellenlängen aufgeteilten Lichtempfindlichkeit des Detektors zusammen mit den Verlusten durch die optischen Eigenschaften des Systems ins Gewicht und wirken sich negativ auf die Aufnahmeergebnisse aus. Noch schwieriger wird es, wenn chemisch nicht unterscheidbare Tintenzüge übereinanderliegen und bei der spektralen Anregung zwar Schrift lesbar, diese aber noch von einer zweiten überlagert wird. Da die Kompetenzen für die Nachbearbeitung der Bilder und für die Identifizierung von Buchstaben bzw. paläographische Untersuchung bei verschiedenen Personen liegen, kommt es zu einer wechselweisen, iterativen Bildbearbeitung. Durch einen intensiven Austausch können die Abbildungen zwar soweit optimiert werden, dass für die aktuelle Fragestellung das beste Ergebnis erreicht wird. Für nachfolgende Projekte steht diese Möglichkeit jedoch nur dann zur Verfügung, wenn nicht nur die finalen Abbildungen, sondern auch die ursprünglichen Aufnahmen als Forschungsprimärdaten noch zugänglich sind.



4 Lesbarmachung des Münchener hebräischen Palimpsests: klassisches Digitalisat oben, UV-Licht-Aufnahme in der Mitte, Ergebnis der Unabhängigkeitsanalyse unten (Bayerische Staatsbibliothek, Cim 29416(1))
Abb.: BSB, Institut für Bestandserhaltung und Restaurierung

Forschungsprojekt: Das Münchener hebräische Palimpsest (Bayerische Staatsbibliothek, Clm 6315 und Clm 29416(1))

Projektpartner: Prof. Dr. Ronny Vollandt, Professor für Judaistik und Vorstand des Instituts für den Nahen und Mittleren Osten, Ludwig-Maximilians-Universität München; Prof. Dr. Judith Olszowy-Schlanger, Präsidentin des Oxford Centre for Hebrew and Jewish Studies, University of Oxford, und Direktorin der Sektion Hebraistik an der École Pratique des Hautes Études, Paris.

Das Münchener hebräische Palimpsest besteht aus zwei Fragmenten,¹⁴ deren Überlieferung einem doppelten Recycling dieser Pergamentblätter zu verdanken ist. Aufgrund der nur oberflächlichen Tilgung des hebräischen Textes auf den beiden später mit einem lateinischen Text überschriebenen Pergamentblättern kann das Palimpsest leicht erkannt werden. Die kleinen Nahtlöcher an einer Blattkante des einen Fragments (Clm 29416(1)) machen es wahrscheinlich, dass das Palimpsest Teil einer horizontal beschriebenen hebräischen Schriftrolle war, die für eine neue Verwendung als Beschreibstoff abgeschabt, in Einzelblätter zerschnitten und mit lateinischen Texten wieder beschrieben wurde. Als Ergebnis der paläographischen Untersuchung der lateinischen Buchstabenformen durch den Handschriftenforscher Bernhard Bischoff 1940 erfolgte diese Überschreibung im frühen 8. Jahrhundert im Benediktinerkloster Bobbio in Norditalien.¹⁵ Bobbio war für seine außerordentlich umfangreiche und bedeutende Bibliothek bekannt und stand in regem Austausch mit anderen Klöstern, etwa mit dem Benediktinerkloster Freising nördlich von München. Dorthin gelangte die lateinische Handschrift zu unbestimmter Zeit und wurde im späteren 15. Jahrhundert erneut »recycelt«. Dieses Mal wurden die Pergamentblätter als Einbandmaterial wiederverwendet. Ein Fragment befindet sich seitdem in dem Einband einer Handschrift aus Kloster Freising und übernahm mit seiner Position am Vorderdeckel fortan eine den Einband stabilisierende Funktion. 1803 kam die karolingische Handschrift in die Sammlungen der Bayerischen Staatsbibliothek (Clm 6315). Das zweite Fragment wurde bereits im 19. Jahrhundert aus dem Einband einer wohl ebenfalls Freisinger Handschrift ausgelöst und in einer Mappe aufbewahrt, da es bereits zu dieser Zeit vom Bibliothekar Friedrich Keinz (1865–1898) als hebräisches Palimpsest erfasst wurde (Clm 29416(1)). Bischoff erkannte die Zusammengehörigkeit beider Fragmente und wies auf ihre Bedeutung als frühes Zeugnis einer hebräischen Schriftrolle hin. Wenn der lateinische Text in Bobbio bereits im frühen 8. Jahrhundert geschrieben worden war, musste der überschriebene hebräische Text aus der Zeit davor, also dem 7. Jahrhundert, oder von noch früher stammen. Dem bekannten Hebraisten Malachi Beit-Arié gelang es 1968, die Schriftzüge als gesungene Gebetstexte, Pijjutim, zu Jom

Kippur, zu identifizieren, eine liturgische Dichtung, die im 4. Jahrhundert aufkam und ihre klassische Phase vom 6. bis 8. Jahrhundert in Palästina hatte, von wo aus sie zu jüdischen Gemeinden im Westen gelangte.

Die Frage, zu welcher Zeit und an welchem Ort die Schriftrolle entstanden war, blieb aufgrund der stark eingeschränkten Lesbarkeit der abgeschabten und lateinisch überschriebenen Zeilen bislang unbeantwortet. Die gute Sichtbarkeit des hebräischen Palimpsests mit einer deutlich von der Tinte des lateinischen Textes unterscheidbaren chemischen und folglich spektralen Signatur macht die hyperspektrale Untersuchung erfolgversprechend. Mit der sogenannten Unabhängigkeitsanalyse, einer Methode der multivariaten Statistik, wird jede spektral unterscheidbare Komponente identifiziert und einzeln erfasst.¹⁶ Daher kann der Algorithmus die beiden chemisch unterscheidbaren Tinten sehr gut trennen. Der hebräische Text lässt sich aus dem Gesamtergebnis der Analyse herausrechnen und steht als isoliertes Bild zunächst für sich. Wird dieses Bild über das klassische Digitalisat mit dem undeutlichen Text gelegt, entsteht ein Digitalisat, das die einzelnen Buchstaben deutlich sichtbar und den Text lesbar macht (vgl. Abb. 4).

Auf der Grundlage dieser neuen, mit Hyperspectral Imaging hergestellten Digitalisate¹⁷ können die charakteristischen Details der hebräischen Buchstabenformen erstmals detailliert beschrieben und für ihre zeitliche und geographische Einordnung mit anderen Texten verglichen werden. Die paläographischen Untersuchungen sind an diesen »analytischen Digitalisaten« deutlich besser durchführbar als am Original oder klassischen Digitalisat.¹⁸

Das Ziel der Anwendung hyperspektraler Bildgebung in diesem Projekt geht über die bloße Wiederherstellung der Lesbarkeit hinaus. Das Interesse der Forschung gilt den einzelnen Buchstaben für die Datierung der Handschrift, die Präzision des algorithmenbasierten Postprocessing ist daher anzusprechen. Auch wenn sich die beiden Tinten analytisch gut unterscheiden lassen, führt der stellenweise schlechte Erhaltungszustand zu Unschärfen oder Überlagerungen der spektralen Signaturen. Bei einer sogenannten unüberwachten Nachbearbeitung kann der Algorithmus daher leicht in die Irre geleitet werden, indem er entweder fälschlicherweise chemische Signaturen nicht sauber trennt oder zu viele Signaturen identifiziert. Beide Fälle führen zu verfälschten Ergebnissen und Fehlern in den resultierenden chemischen Kartierungen, aus denen letztlich die Abbildungen erzeugt werden. Anhand eingebauter Kontrollmechanismen können offensichtliche Fehler zwar schnell identifiziert und behoben werden. Wenn es aber, wie im vorliegenden Fall, um die exakte Darstellung einzelner hebräischer Buchstaben geht, können auch minimale Abweichungen zu Fehlinterpretationen führen. Die softwaregeführte Nachbearbeitung hyperspektraler Daten ist ein komplexer Vorgang, bei dem die Grenze zwischen Interpretation und

Manipulation unbeabsichtigt überschritten werden kann. Daher sind Expertise und Qualitätssicherungsprotokolle für ein zuverlässiges Ergebnis unabdingbar.

Forschungsprojekt: Maïse »Rabbi Juda der Fromme und sein Spiegel« (Bayerische Staatsbibliothek, Cod.hebr. 495, Bl. 197v-203r)

Projektpartner: Prof. em. Dr. Erika Timm, Lehrstuhl für Jiddistik an der Universität Trier.

Als die Bayerische Staatsbibliothek 1991 eine bis dato in der Wissenschaft völlig unbekannte, um 1585 in Rovereto (Norditalien) entstandene jiddische Handschrift mit einer Maïse-Sammlung erwarb (Cod.hebr. 495),¹⁹ war unabsehbar, dass 30 Jahre danach zwölf unleserliche Seiten mit hyperspektralen Aufnahmen für die Edition der Sammlung sichtbar gemacht werden konnten.²⁰ Die Maïse »Rabbi Juda der Fromme und sein Spiegel« (Bl. 197v-203r) war durch einen extremen Tintenschaden nicht entzifferbar, bei dem die Eisengallustinte entlang der Papierfasern in alle drei Dimensionen des Papiers diffundiert ist und zur Überlagerung der Schrift von Vorder- und Rückseite geführt hat. Eine Restaurierung nach dem Ankauf hat das Manuskript vor weiteren Textverlusten geschützt.

Um die Lesbarkeit dieser Maïse mit spektralen Methoden wiederherzustellen, muss die aus der Schriftlinie herausdiffundierte Tinte reduziert bzw. transparent gemacht werden. Allerdings liegt bei Schrift und Tintenschaden die gleiche Tinte vor, sodass chemisch kaum Unterschiede bestehen. Die Auswertung der hyperspektralen Aufnahmen hat aber eine Besonderheit der Tinte zum Vorschein gebracht, die vorab analytisch nicht zu erkennen war. Der Schreiber hat keine reine Eisengallustinte, sondern eine Mischfarbe mit Rußzusatz verwendet. Im Gegensatz zur eisenhaltigen Komponente ist der Rußanteil nicht auf dem Papier verlaufen und bleibt auch im infraroten Spektrum deutlich erkennbar. Mit diesem ersten Untersuchungsergebnis ist eine Auswertung der hyperspektralen Aufnahmen bei längeren Wellenlängen besonders sinnvoll, da die Eisengalluskomponente und damit der Tintenschaden vollständig transparent und nur das Schriftbild der Rußtinte sichtbar bleibt.

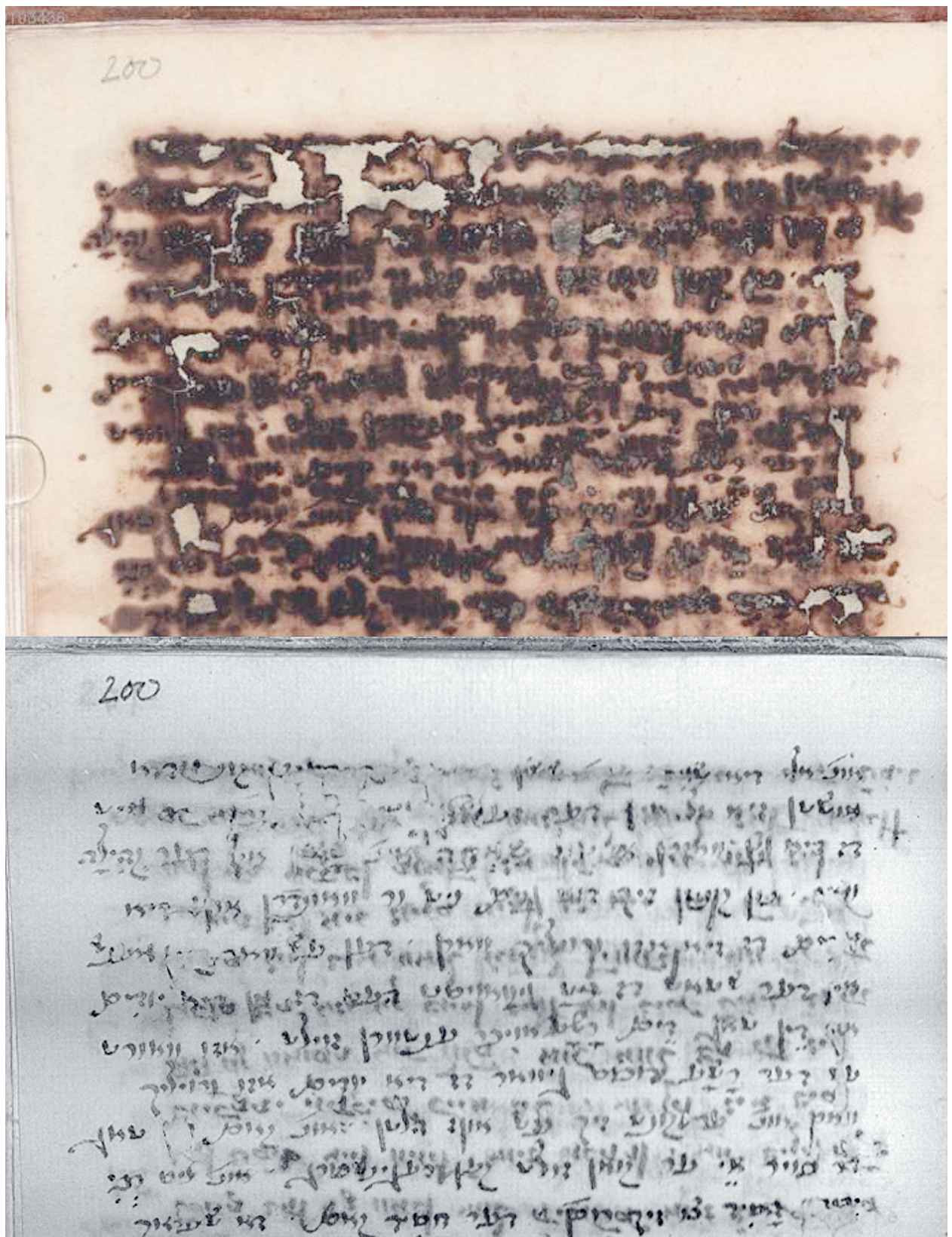
Für die zwölf Seiten der Maïse-Sammlung war die Lesbarkeit bei einer Wellenlänge von 1.169 nm weitestgehend wiederhergestellt (vgl. Abb. 5). Bei einzelnen Textpartien haben zusätzliche Aufnahmen niedriger Wellenlängen für eine bessere Lesbarkeit gesorgt, die aus den 196 Bändern zwischen 920 und 1.770 nm des hyperspektralen Kubus ausgewählt wurden. Mit diesen gelang es Erika Timm, den bislang unlesbaren Text weitestgehend zu transkribieren. »Die Entzifferung der Maïse war selbst mit diesen Aufnahmen äußerst zeitaufwendig. Sehr geholfen hat mir dabei, dass ich die Handschrift des Schreibers bereits bestens kannte; dennoch habe ich oft, bevor ich ein Wort niederschrieb, sicherheitshalber andere Vorkommensfälle des Wortes

im Manuskript verglichen. Wo die Tinte der jeweiligen Rückseite mit voller Stärke durchgedrungen war und ein unlesbares Strichknäuel erzeugt hatte, habe ich mehrfach beide Seiten auf dünnes Papier kopiert, die Kopien genau aufeinander gelegt und mit einem Stecknadelstich entsprechende Stellen markiert; das half, Buchstabe für Buchstabe die überzähligen Striche wegzudenken.«²¹ Gänzlich verloren bleiben die Textpartien, bei denen der Tintenschaden zum Verlust und Ausbruch der Seiten geführt hat.

Dieses dritte Projekt kontrastiert besonders gut die Möglichkeiten und Grenzen spektraler Bildgebungsverfahren. Das Vorliegen einer Mischfarbe mit Rußanteil ermöglicht trotz extremen Tintenschadens die erfolgreiche Anwendung einer spektralen Technik zur Wiederherstellung der Lesbarkeit der Schrift. Dies ist aber nicht gleichbedeutend mit einer Wiederherstellung der Lesbarkeit des Textes. Da die schwierige Ausgangssituation eine weitere Trennung der Bildebenen verhinderte, ist für das Lesen des beschädigten Textes die Referenz auf den unbeschädigten Textteil notwendig. Ebenfalls belegt das Projekt, dass für die Lesbarkeit der Schrift nicht zwingend eine Trennung der Bildschichten notwendig ist, wie etwa auch bei der Lesbarmachung des Archimedes Palimpsests diskutiert.²² Gerade wenn die Bildebenen nicht zuverlässig getrennt werden können, ist die kombinierte Darstellung oft zielführender als eine potentiell riskante Bildmanipulation.

Von der spektralen Aufnahme zur Abbildung – ein Ping-Pong-Spiel zwischen den Disziplinen

Die Herstellung der maximalen Lesbarkeit einer graduell oder vollständig gelöschten Schrift ist ein iterativer Prozess, in dem sich die beteiligten Personen schrittweise in wiederholten Vorgängen dem Ergebnis annähern. Interdisziplinär baut man auf jeder Stufe im Nachbearbeitungsprozess der Aufnahmen noch bestehende Unklarheiten in subjektiver Bewertung ab. Während die ersten Prozessschritte auf streng naturwissenschaftlichen Prinzipien basieren, gibt es für die Ergebnisdarstellung von multi- und hyperspektralen Untersuchungen hinsichtlich der Wahl von Bildkomposition, Helligkeit, Kontrast oder Farbigkeit der Abbildungen noch keine geeignete quantitative Metrik.²³ Diese Parameter haben jedoch einen entscheidenden Einfluss auf die Wahrnehmung der Bildinformation durch das menschliche Auge. Wie Vergleiche von verschiedenen Bildkompositionen zeigen, führt eine uneindeutige Trennung von Bildschichten zu minderer Lesbarkeit, dagegen kann eine kontraststarke Abbildung zweier überlagernder Bildschichten bessere Resultate bringen. Für die Farbigkeit bei der Ergebnisdarstellung gilt, dass fallbezogen und abhängig von der Aufnahmetechnik eine Darstellung in Falschfarben oder Graustufen einen stärkeren Kontrast erzeugt, Helligkeit und Tonwertumfang beeinflussen ebenso die Lesbarkeit.



5 Lesbarmachung einer Maiße: klassisches Digitalisat oben, Ausschnitt aus dem hyperspektralen Datensatz bei 1.169 nm unten (Bayerische Staatsbibliothek, Cod.hebr. 495, Bl. 200 r)

Abb.: BSB, Institut für Bestandserhaltung und Restaurierung

Mit Blick auf die mit einem erheblichen Aufwand gewonnenen Forschungsergebnisse ist die Nachnutzbarkeit der Abbildungen langfristig zu sichern. Durch die immer größeren Datensätze und ihre vorwiegend softwaregestützte Auswertung besteht das Risiko, nur noch mit den Funktionen der Bildmanipulation zu arbeiten. Eine Überprüfbarkeit der Untersuchungsergebnisse und der durch Nachbearbeitung entstandenen Abbildungen anhand der ursprünglichen Aufnahmen und Datenwürfel (bei hyperspektralen Aufnahmen) ist daher selbstverständlich. Dies setzt allerdings einen dauerhaften Zugriff auf die vollständigen Untersuchungsdaten voraus.

Fazit

Die Lesbarmachung von gelöschten Textpartien oder ganzen Palimpsesten ist ein interdisziplinärer Prozess. Ohne den heutigen Entwicklungsstand spektroskopischer Technologien wären diese Erkenntnisse nicht zu gewinnen, die unser Wissen über das schriftliche Kulturerbe bedeutend vermehren und auch verändern werden. Mit den neuen spektralen Imagingverfahren und anderen bildgebenden Techniken werden letztlich digitale Objekte erzeugt, die online im engsten Zusammenhang mit dem klassischen Digitalisat eines Werkes sichtbar zu machen und bereitzustellen sind. Vor dem Hintergrund ihrer exzeptionell reichen und hochwertigen Sammlungen sowie ihrer klassischen Erschließungsarbeiten hat die Bayerische Staatsbibliothek einen neuen Bereich für Materialwissenschaft und Kunsttechnologie geschaffen und mit modernster Technik ausgestattet, um diese innovativen Forschungsansätze in eigener Kompetenz bearbeiten und Projekte in nationaler und internationaler Kooperation aktiv gestalten zu können.²⁴ Mit dieser Strategieentscheidung hat sich die Bayerische Staatsbibliothek im Feld naturwissenschaftlicher Analytik als forschende Einrichtung und als Partner der Wissenschaft etabliert.

Neben den jüngsten Forschungsdaten wie den hyperspektralen Aufnahmen und Ergebnisdaten aus den oben vorgestellten Projekten ist bereits in den letzten Jahren in drittmittelgeforderten Projekten eine Vielzahl materialwissenschaftlich »erzeugter« digitaler Objekte entstanden, zum Beispiel die Digitalisate von Wasserzeichen zur DFG-geförderten Erschließung von mittelalterlichen Handschriften und Musikhandschriften mittels Thermographie oder die hochauflösenden Aufnahmen eines 3D-Mikroskops von Details mittelalterlicher Goldschmiedeeinbände und Tibetischer Buchdeckel. Während die Wasserzeichen-Digitalisate direkt am Katalogeintrag der zugehörigen Handschrift angebunden sind, wurden im DFG-Projekt zur Erschließung und Digitalisierung von Einbänden als eigenständige Kunstobjekte eigene Katalogisate für die Einbände erstellt, mit denen die Bildfolgen einer Rundumansicht des Einbands und makroskopische wie mikroskopische Detailansichten verknüpft wurden. Ein Semantik Media

Wiki mit allen Informationen bietet einen komfortablen Zugriff auf die einzelnen »analytischen Digitalisate«.²⁵

Der neue Standard IIIF und sein Viewer Mirador sind für ein nahtloses Übereinander-, Nebeneinander- oder Ineinanderfügen von digitalen Bildern an einem einzigen Bildschirm entwickelt worden. Die Bayerische Staatsbibliothek stellt derzeit ihre »analytischen Digitalisate« (Wasserzeichen, Mikroskopbilder, lesbar gemachte Textpartien) begleitend zum klassischen Digitalisat im Internet bereit. Zukünftig sollen die digitalen Objekte entweder durch Annotation (z. B. Mikroskopaufnahmen von Details an Goldschmiedeeinbänden) oder durch Überblendung des klassischen Digitalisats (Wasserzeichen, Textpartien) am gleichen Ort für die Wissenschaft und die breite Öffentlichkeit sichtbar gemacht werden. Auf diese Weise wird Schritt für Schritt die auch für die Nationale Forschungsdateninfrastruktur (NFDI) leitende Idee eines integrierten, vernetzten und dynamischen Forschungsdatensatzes umgesetzt, in dem das ursprüngliche »Retrodigitalisat« und seine »Tiefenerschließung« zwar nach wie vor den Nukleus, aber nicht mehr das Ganze des jeweiligen Digitalobjekts darstellen.

Anmerkungen

- 1 <https://www.bsb-muenchen.de/article/digitalisierung-als-zentrale-aufgabe-bayerische-staatsbibliothek-stellt-2-5-millionstes-digitalisat-online0-3312/> [Zugriff am: 29.04.2021].
- 2 <https://www.bsb-muenchen.de/article/volltextsuche-stufen-loser-zoom-open-access-bayerische-staatsbibliothek-stellt-ihre-neuen-digitalen-sammlungen-mit-rund-2-7-millionen-digitalisierten-titeln-vor0-4096/> [Zugriff am: 29.04.2021].
- 3 Roger L. Easton, Jr. & William Noël: The multispectral imaging of the Archimedes Palimpsest. In: *Gazette du livre medieval*, 45 (2004), Nr. 1, S. 39–49; Michael Friedrich (Hrsg.): *Manuscript Cultures*, 11 (2018). Verfügbar unter: https://epub.sub.uni-hamburg.de/epub/volltexte/2018/82651/pdf/manuscript_cultures_no_11.pdf
- 4 Sadra Zekrgoo: Methods of Creating, Testing and Identifying Traditional Black Persian Inks. In: *Restaurator. International Journal for the Preservation of Library and Archival Material*, 35 (2014), Nr. 2, S. 133–158. DOI 10.1515/rest-2014-1001
- 5 Tami C. Bond & Robert W. Bergstrom: Light Absorption by Carbonaceous Particles: An Investigative Review. In: *Aerosol Science and Technology*, 40 (2006), Heft 1, S. 27–67. DOI 10.1080/02786820500421521
- 6 Rachelle S. Jacobson et al.: The Molecular Composition of Soot. In: *Angewandte Chemie International Edition*, 59 (2020), Nr. 11, S. 4484–4490. DOI 10.1002/anie.201914115
- 7 Karolina Jurkiewicz, Mirosława Pawlyta & Andrzej Burian: Structure of Carbon Materials Explored by Local Transmission Electron Microscopy and Global Powder Diffraction Probes. In: *C. Journal of Carbon Research*, 4 (2018), Nr. 4, 68. DOI 10.3390/c4040068
- 8 C.-H. Wunderlich, R. Weber & G. Bergerhoff: Über Eisengallustinte. In: *Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie*, 598 (1991), Nr. 1, S. 371–376. DOI: 10.1002/zaac.19915980134; Russell K. Feller & Anthony K. Cheetham: Fe(III), Mn(II), Co(II), and Ni(II) 3,4,5-Trihydroxybenzoate (Gallate) Dihydrates; a New Family of Hybrid Framework Ma-

- terials. In: *Solid State Sciences*, 8 (2006), Nr. 9, S. 1121–1125. DOI: 10.1016/j.solidstatesciences.2006.04.013
- 9 Friedrich E. Wagner & Anton Lurf: Mössbauer Spectroscopic Investigation of FeII and FeIII 3,4,5-Trihydroxybenzoates (Gallates). Proposed Model Compounds for Iron-Gall Inks. In: *Zeitschrift Für Anorganische und Allgemeine Chemie*, 641 (2015), Nr. 14, S. 2384–2391; Anton Lurf & Friedrich E. Wagner: Model compounds of iron gall inks, a Mössbauer study. In: *Hyperfine Interactions*, 237 (2016), Nr. 1, S. 36. DOI 10.1007/s10751-016-1280-y. Rafael Javier Díaz Hidalgo et al.: New Insights into Iron-Gall Inks through the Use of Historically Accurate Reconstructions. In: *Heritage Science*, 6 (2018), Nr. 1, S. 63. DOI 10.1186/s40494-018-0228-8
- 10 Claudia Colini, Oliver Hahn, Olivier Bonnerot, Simon Steger, Zina Cohen, Tea Ghigo Thomas Christiansen, Marina Biccieri, Paola Biocca, Myriam Krutzsch & Ira Rabin: The Quest for the Mixed Inks. In: *Manuscript Cultures*, 11 (2018), S. 41–48; Reviel Netz and Walters Art Museum (Baltimore, Md.) (Hrsg.): *The Archimedes Palimpsest* (2011), 1. Ed. The Archimedes palimpsest publications. New York: Published for the Walters Art Museum by Cambridge University Press, S. 177.
- 11 Ira Rabin, Oliver Hahn, Roger L. Easton, Jr., Keith T. Knox, Ken Boydston, Gregory Heyworth, Timoty Leonardi, & Michael Phelps: Initial Inspection of reagent damage to the Vercelli Book. In: *COMSt Bulletin*, 1 (2015), Nr. 1, S. 34–44. Verfügbar unter: <https://www.aai.uni-hamburg.de/en/comst/pdf/bulletin1/pp34-45.pdf>
- 12 Digitalisat verfügbar unter: <https://mdz-nbn-resolving.de/details:bsb00003409>
- 13 Raphael Nathan Nata Rabinovicz: *Sefer Diquduq Soferim = Variae Lectiones in Mischnam et in Talmud Babylonicum*, 15 Bde., München 1867–1888, Bd. 1, 1867, S. 30.
- 14 Digitalisat verfügbar unter: <https://mdz-nbn-resolving.de/details:bsb00047259>; <https://mdz-nbn-resolving.de/details:bsb00028970>
- 15 Bernhard Bischoff: *Die südostdeutschen Schreibschulen und Bibliotheken in der Karolingerzeit. Teil 1.* Leipzig: Harrassowitz Verlag, 1940, S. 151.
- 16 https://www.ar.tum.de/fileadmin/w00bfl/rkk/media_rkk/downloads/Diplom-_und_BA-Arbeiten/Mindermann_MA-Thesis_TUM_2018_revised.pdf
- 17 Digitalisat verfügbar unter: <https://mdz-nbn-resolving.de/details:bsb00133921>
- 18 Eine Publikation in der Reihe *Judentum und Umwelt / Realms of Judaism*, Hanna Liss & Ronny Vollandt (Hrsg.), Peter Lang International Academic Publishers ist in Vorbereitung.
- 19 Digitalisat verfügbar unter: <https://mdz-nbn-resolving.de/details:bsb00103436>
- 20 Die Ergebnisse des Forschungsprojekts bei Erika Timm: Rabbi Juda der Fromme und sein Spiegel. In: *Jiddistik Mitteilungen*, 64 (2020), S. 1–32.
- 21 Vgl. E. Timm, Anm. 20, S. 2.
- 22 Vgl. R. Netz, Anm. 10, S. 184.
- 23 Simon Brenner & Robert Sablatnig: Subjective Assessments of Legibility in Ancient Manuscript Images – The SALAMI Dataset. In: *Pattern Recognition. ICPR International Workshops and Challenges*, Alberto Del Bimbo et al. (Hrsg.). Cham: Springer International Publishing 2021, S. 68–82. DOI: 10.1007/978-3-030-68787-8_5
- 24 Irmhild Ceynowa & Thorsten Allscher: Analytisch betrachtet – Der neue materialwissenschaftliche und kunsttechnologische Forschungsschwerpunkt an der Bayerischen Staatsbibliothek. In: *Zeitschrift für Bibliothekswesen und Bibliographie*, 64 (2017), Nr. 5, S. 234–248. Verfügbar unter: https://zs.thulb.uni-jena.de/receive/jportal_jparticle_00531905
- 25 <https://einbaende.digitale-sammlungen.de/Prachteinbaende/Hauptseite>

Verfasser*innen



Dr. Irmhild Ceynowa ist Direktorin des Instituts für Bestandserhaltung und Restaurierung (IBR) der Bayerischen Staatsbibliothek, Ludwigstraße 16, 80539 München, Telefon +49 89 28638-2625, irmhild.ceynowa@bsb-muenchen.de

Foto: BSB, M. McKee



Dr. Thorsten Allscher ist Stellvertreter der Abteilungsleitung IBR und Leiter des Referats für Materialwissenschaft und Kunsttechnologie, Bayerische Staatsbibliothek, Ludwigstraße 16, 80539 München, Telefon +49 89 28638-2396, thorsten.allscher@bsb-muenchen.de

Foto: Sedan Sieben GmbH